

TEKNIK

S M I K E In A

Prosiding

SEMINAR NASIONAL
REKAYASA dan TEKNOLOGI
Tahun 2013

Reuleut, 04 Desember 2013

ISSN : 977-2354587-001



Dalam Rangka
DIES NATALIS KE - 32
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

Tema:

PERAN DUNIA PENDIDIKAN DALAM
PENINGKATAN KESEJAHTERAAN
MASYARAKAT PASCA MIGAS ACEH



ExxonMobil



Bappeda
Aceh Utara



PT. ARUN



Dinas PU
Lhokseumawe



19	Analisa Arus Rupture Sebagai Parameter Gempa Bumi - Deussy Siska, Wendi	203-216
20	Studi Eksperimental Pengaruh Bentuk Mencu Bulat dan Ambang Lebar Terhadap Profil Muka Air - Fasliarsyah	217-229
21	Kajian Pengelolaan Sistem Pemeriksaan dan Penilaian Kondisi Jembatan Material Beton Pra-Tegang (Cable Stayed dan Arch Bridge) - Teuku Muhammad Ridwan	230-245
22	Pelayanan Terminal Terhadap Penumpang Angkutan Bus Antar Kota Antar Provinsi (AKAP) (Studi Kasus Terminal Penumpang Batoh Kota Banda Aceh - Said Jalalul Akbar	246-260
23	Studi Karakteristik Campuran Lapisan Aspal Beton (AC-WC) Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2006 dan 2010 - Adzuha Desmi	261-281
24	Sistem Informasi Penjualan Berbasis Web Menggunakan Metode Unified Modelling Language (UML) - Dahlan Abdullah, Zainul Asikin, Cut Ita Erliana	282-298
25	Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Pinjaman Modal Untuk Pengembangan Usaha Kecil Menengah Dengan Menggunakan Metode Promethee - Rizal	299-312
26	Minimasi Pemborosan Untuk Percepatan Proses Produksi Dengan Konsep LEAN dan 5S - Noviyarsi, Lestari Setiawati, Yasmizarti Muchtiar, Muhammad Iqbal	313-325
27	Perbandingan Pengaruh Penggilingan Pulp Pelepeh Kelapa Sawit Proses Asetosolv dan Pulp Kayu Lembut Terhadap Karakteristik Kertas Yang Dihasilkan - Nasrullah BCL	326-335
28	Penambahan CMC (Carboxy) Methyl Cellulose) dan Lama Penyimpanan Terhadap Misa Sari Buah Asam Jawa (Tamarindus Indica) - Libiya	336-342
29	Pembuatan dan Analisis Struktur Speed Bump Bahan Komposit Busa Beton (Concrete Foam) - Maraghi Muttaqin, Nazuli Fitriadi, Yusuf Sihnan, Abdurrahman, Irawansyah dan Bustami Syam	343-351
30	Laju Pertumbuhan Retak Fatik Siklus Rendah Aluminium A6063-T6 di Bawah Pembebanan Mode Campuran - Zulmiardi, Merlatna, Zaluuddin Ginting	352-366
31	Pengembangan Material Komposit Busa Polimer Menggunakan Serat TKKS Sebagai Penguat - Ade Irwan, Mahadi, Ria Dini Wanti Lubis, dan Bustami Syam	367-371
32	Pengaruh Komposisi Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Komposit Keramik Clay Pasir Besi Abu Sekam Padi - Andia Fatmaliana, M. Nizar Machmud, dan Zulkarnain Jalil	372-382
33	Pengaruh Ratio Bahan dan Pelarut Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Dari Daun Jeruk Purut (Citrus Hystrix D, C) Dengan Metode Hidrodistilasi Sistem Kohobasi - Pucent Nurul Alam, Abrar Muslim, Cut Erika	383-391
34	Beton Geopolimer: Beton Ramah Lingkungan - Maltuar, Hamzani, Lis Ayu Widari, Said Jalalul Akbar, Burhanuddin	392-400



ANALISA ARAH RUPTURE SEBAGAI PARAMETER GEMPA BUMI

Denny Siska¹, Wendi²

Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

denny@ymail.com

ir_wendi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Gempa bumi adalah peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi yang mengakibatkan getaran dipermukaan tanah. Getaran tersebut menjalar ke segala arah sebagai gelombang seismik. Dan perekaman gelombang seismik digunakan untuk menentukan parameter parameter gempa bumi. Keterbatasan parameter gempa bumi seperti waktu terjadinya gempa, kedalaman hiposenter, posisi episenter, intensitas dan kekuatan gempa sangat diperlukan untuk analisa lebih lanjut maupun untuk kepentingan mitigasi bencana. Rupture adalah area yang cukup luas yang terbentuk pada saat terjadinya gempa bumi yang dimulai dari episenter sepanjang bidang patahan untuk jenis gempa tektonik. Tujuan penelitian ini menggunakan perangkat lunak Matlab 7.10 (R2010a), Geoppy dan Aplikasi array response function. Dengan mengetahui arah rupture maka penanganan mitigasi bencana dapat lebih difokuskan pada kawasan-kawasan tersebut sepanjang garis patahan.

Kata Kunci : Rupture, gempa bumi, seismik, array response function, bidang patahan.

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba didalam kerak bumi yang mengakibatkan getaran di permukaan tanah. Getaran tersebut menjalar ke segala arah sebagai gelombang seismik yang merambat dari pusat gempa melalui bagian dalam hingga ke permukaan bumi. Perambatan gelombang seismik dari pusat gempa ke stasiun pengamatan ditangkap pada sebuah alat yang dinamakan seismometer. Seismometer merekam gerakan tanah akibat gempa bumi dan rekaman datanya disebut dengan seismogram. Seismogram ini dapat digunakan untuk menentukan parameter gempa bumi, diantaranya waktu kejadian gempa, kedalaman hiposenter, posisi episenter, intensitas dan kekuatan gempa bumi. Teknik seismik array merupakan sebuah metode perekaman data seismik yang menggunakan paling sedikit tiga seismometer dengan konfigurasi tertentu. Keunggulannya adalah data perekaman sinyal seismik yang diolah dengan menggunakan teknik array akan menghasilkan sinyal yang memiliki rasio sinyal terhadap noise yang lebih baik dibandingkan dengan hasil sinyal dari seismogram tunggal. Penggunaan teknik seismik array belum populer di Indonesia walaupun teknik ini sudah diperkenalkan sejak tahun 1960 an (Rost dan Thomas, 2002). Oleh karena itu dalam penelitian ini akan diperkenalkan teknik seismik array untuk menentukan arah rupture pada gempa Tohoku, Jepang tanggal 11 Maret 2011.

Gempa bumi yang terjadi di Tohoku, Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 pukul 05:46 UTC (14:46 waktu setempat) merupakan gempa berkekuatan besar dengan magnitudo M_w 9,0. Gempa ini menimbulkan gelombang tsunami yang melanda wilayah Tohoku. Selain tsunami, gempa bumi pada tanggal 11 Maret 2011 ini juga menciptakan area *rapture* yang cukup luas yang dimulai dari daerah di episenter di sepanjang bidang patahan.

Pada penelitian sebelumnya, istilah *rapture* pada gempa Tohoku 11 Maret 2011 ini pernah diteliti menggunakan teknik proyeksi balik (*back-projection method*) dengan hasil yang didapat adalah panjang *rapture* 450 km dengan durasi sekitar 150 detik. *Rapture* dari gempa ini memiliki kecepatan 1,0 sampai 1,5 km/detik dan merambat ke arah barat daya kemudian membelok ke arah tenggara (Wang & Mori, 2011). Dengan mengetahui zona *rapture* maka kajian analisa gempa bumi dapat diperluas hingga ke kawasan mitigasi bencana dan teknik pembangunan anti gempa dapat lebih difokuskan pada kawasan *rapture* tersebut.

Permasalahan, Gempa Tohoku pada tanggal 11 Maret 2011 merupakan gempa bumi besar yang menimbulkan gelombang tsunami. Peristiwa ini menyebabkan kerusakan infrastruktur yang parah dan banyak korban jiwa. Arah *rapture* gempa merupakan salah satu parameter yang penting diketahui pada saat terjadinya gempa bumi sebagai salah satu informasi untuk kepentingan mitigasi bencana dan *early warning system*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan arah *rapture* gempa bumi Tohoku, Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 melalui pergerakan arah *back azimuth*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam masalah teknik pembangunan konstruksi tahan Gempa pada wilayah rawan gempa. Selain itu diharapkan ada beberapa informasi yang dapat disampaikan kepada masyarakat terkait dengan parameter gempa bumi serta mitigasi Bencana.

2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran yang dirasakan pada permukaan bumi akibat sesuatu hal atau akibat kejadian tertentu dari bagian dalam bumi. Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang bersifat merusak dan seringkali lebih ditakuti daripada

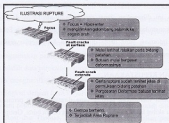
letusan gunung berapi, karena guncangan gempa yang ditimbulkan oleh patahan ini langsung pada tanah tempat berpijak (Emmons, 1960)

2.2 Seismologi

Gempa bumi merupakan bagian dari objek penelitian ilmu seismologi. Seismologi dapat dipandang dalam dua defenisi. Defenisi yang pertama berkaitan dengan ilmu yang mempelajari gempa bumi dan fenomena fisika yang berhubungan dengan bagian dalam bumi. Defenisi yang kedua, seismologi adalah ilmu yang berhubungan dengan gelombang elastis yang meliputi sumber, penjaluran dan percamannya (Bath, 1973).

2.3 Rupture

Pada saat terjadinya gempa tektonik, ada suatu bentakan pada hiposenter yang mengalirkan gelombang seismik secara sirkular yang menyebar ke segala arah. Penyebaran gelombang seismik ini akan menyebabkan terjadinya robekan-robekan kecil pada kerak bumi dibawah permukaan sepanjang bidang robekan. Robekan kecil inilah yang dinamakan dengan *rupture*. Pada bidang patahan, *rupture* baru akan terlihat setelah deformasi batuan bergeser. Pada saat pergeseran deformasi batuan diantara kedua lempeng tersebut, maka terjadilah robekan-robekan disepanjang bidang patahan. Robekan ini terjadi karena struktur batuan yang kaku dan tidak elastis. Keseluruhan peristiwa ini terjadi dalam durasi waktu tertentu yang dinamakan durasi waktu *rupture*. *Rupture* akan terlihat jelas disaat gempa berhenti seperti diperlihatkan Gambar 2.1.

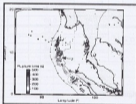


Gambar 2.1 Ilustrasi proses terjadinya *rupture* pada saat gempa bumi berlangsung (<http://scoc.usc.edu/internship/seis/cit/eqbasicinfo>, 2012)

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan menggunakan teknik array untuk menentukan arah *rupture*, diantaranya adalah Huang pada tahun 2001 melakukan penelitian arah *rupture* terhadap gempa yang terjadi di kota Chi-Chi, Taiwan pada tanggal 21 September 1999 pukul 01.47 waktusetempat yang memiliki magnitudo M_w 7,6. Gempa yang terjadi di Taiwan ini memiliki kecepatan *rupture* sebesar 2,1 km/detik dalam durasi 24 detik dengan arah *rupture* menuju arah utara dari episenter (Huang, 2001).

Gempabumi Sumatera pada tanggal 26 Desember 2004 yang menyebabkan tsunami pada beberapa tempat termasuk salah satunya adalah Nanggroe Aceh Darussalam dengan kekuatan M_w 9,1. Data rekaman diambil pada stasiun array *German Regional Seismic Network* (GRSN) yang terletak di Jerman, dengan jarak antara stasiun dengan episenter > 9.000 km. Dalam penelitian ini diurutkan waktu tiba gelombang *P* pada 20 stasiun array GRSN di Jerman, dengan menggunakan metoda *beam forming*.

Dengan menggunakan metoda *beam forming* diperoleh bahwa arah dan jalur *rupture* pada gempa ini menuju arah kepulauan Andaman, dibagian barat daya episentrum, seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Pergerakan *rupture* yang bermula di episentrum menuju kearah kepulauan Andaman di bagian barat laut dari episenter. Besar kecilnya energy seismik linier dengan jari-jari lingkaran, dan durasi *rupture* dibedakan dengan konturwarna yang dimulai dari range 0 hingga 500 detik. (Kruger danOhrnberger, 2005)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk *event* gempa pada tanggal 11 Maret 2011 dari stasiun Geofisika Padang, Sumatera Barat, dengan sumber gempabumi



Tohoku, Jepang pada pukul 05:46 UTC (pukul 14:46 waktu setempat), kedalaman 24 km, magnitudokMw 9.0. Data parameter sumber didapat dari situs web USGS (<http://earthquake.usgs.gov>).

Tabel 3.1 Parameter SumberGempa Tohoku, Jepang 2011

Tanggal	Origin Time (UTC)	Latitude (°)	Longitude (°)	Depth (Km)	Magnitude (Mw)
11 Maret 2011	05:46	142.372	38.297	30	9.0

JenisGempa yang terjadi di Tohoku, Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 merupakan gempa tektonik, yang bersumber dari sesar naik pada zona subduksi lempeng antara Lempeng Pasifik dan Lempeng Amerika Utara.

Tabel 3.2 Data lima stasiun array yang digunakandalampencelitian

No	Tanggal	Stasiun	Posisi	
			Latitude (°)	Longitude (°)
1	11 Maret 2011	SP2	-0.69	100.32
2		SP4	-0.83	100.39
3		SP5	-0.86	100.40
4		SP6	-0.98	100.37
5		SP7	-0.98	100.37

Peralatan Yang Digunakan

Untuk mencapai tujuan dalam pelaksanaan penelitian, digunakan beberapa *software* computer yaitu:

1. Sistem operasi Windows XP.
2. Perangkat lunak dengan sub program antara lain:
 - ❖ *Geoppy*: perangkat lunak yang digunakan untuk menampilkan bentuk gelombang dan pengolahan sinyal dalam bidang seismologi dan geofisika.
 - ❖ *Warungs*: digunakan untuk menganalisis bentuk *Array Response Function* dari posisi stasiun array.

- ❖ *Matlab 7 (2010)*
- ❖ *SeisGram2k*: digunakan untuk *picking* waktu tiba gelombang *P* dan gelombang *s* pada sinyal gempa 11 maret 2011 yang berpusat di Tohoku, Jepang.
- ❖ *Google Earth dan ArcGis*, digunakan untuk membuat peta penelitian.

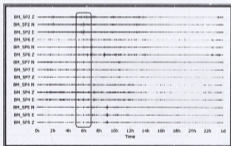
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Seismogram

Data yang digunakan adalah hasil rekaman seismogram non permanen pada stasiun array di Padang, Sumatera Barat pada tanggal 11 Maret 2011.

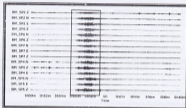
Pemrosesan Data Sinyal (Pemotongan dan Filtering)

Pemotongan sinyal dilakukan untuk mendapatkan *event* gempa. Sedangkan *filter* (penapisan) dilakukan untuk meloloskan frekuensi yang diinginkan dan menghilangkan efek *noise*. Gambar 5.1 menunjukkan hasil rekaman seismogram awal. Keseluruhan sinyal yang ditampilkan masih terlihat kecil dan sulit untuk membedakan antara sinyal gempa dan *noise*.



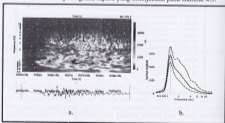
Gambar 4.1 Data sinyal seismogram sebelum mengalami proses pemotongan dan filtering, sinyal yang berada didalam kotak menunjukkan *event* gempa pada tanggal 11 Maret 2011

Data sinyal sebelum mengalami pemotongan dan filtering merupakan data yang terlalu besar sehingga bentuk sinyalnya kurang dapat diamati antara noise dan event gempa. Jika diamati lebih detail maka akan terlihat adanya bentuk sinyal yang koheren pada waktu yang sama. Sinyal yang koheren ini merupakan event gempa bumi. Untuk melihat event gempa menjadi lebih detail, maka dilakukan pemotongan dan sinyal. Sehingga sinyal gempa dapat terlihat lebih jelas, seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Data sinyal anisogram telah mengalami proses pemotongan, sinyal yang berada di dalam kotak menunjukkan event gempa yang terjadi pada pukul 05:46 UTC

Sebelum melakukan *filtering* maka terlebih dahulu dicari range frekuensi dominan melalui analisis spektrogram, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

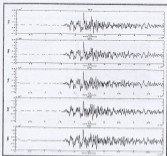


Gambar 4.3 a) Diagram spektrogram awal salah satu sinyal pada stasiun array SPS yang menunjukkan event gempa dengan nilai amplitudo maksimum terdapat pada

rentang waktu 05.56' – 05.58',30'' UTC dengan frekuensi dominan diatas 1 Hz. b) Grafik spektrum sinyal seismogram pada event gempa untuk rentang waktu 05.56' – 05.58',30'' UTC dari analisis ini diperoleh frekuensi yang dipakai untuk filterisasi adalah *filtering band pass* 0,1 Hz - 1 Hz

Spektrogram yang menunjukkan adanya event gempa yang ditandai dengan urutan spektrum warna dengan simpangan amplitudo yang terendah hingga maksimum dalam domain frekuensi. Melalui tahapan ini dapat dilihat dari waktu dan frekuensi pada saat energi maksimum gempa terjadi. Gambar 5.3 memperlihatkan runtutan amplitudo gempa maksimum terjadi pada rentang waktu 100 detik. Rentang waktu ini dapat dijadikan total *time window* pada saat pemotongan *f-t section*. Batasan nilai frekuensi yang akan digunakan pada saat melakukan *filtering* diperoleh dari analisis spektrum sinyal gempa, yaitu *filtering band pass* 0,1 – 1 Hz, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.3b.

Sinyal yang telah mengalami proses *filtering* dan restitusi akan terlihat lebih halus dan waktu tiba gelombang *P* dapat terlihat lebih jelas.

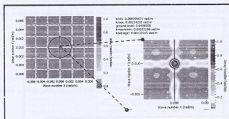


Gambar 4.4 Karakteristik sinyal gempa pada stasiun array non permanen di Padang, Sumatera Barat untuk tanggal 11 Maret 2011 pukul 05:46 UTC yang telah melalui proses *filtering* dan restitusi

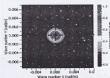
Array Response Function

Pola *array response function* digunakan untuk menentukan arah *capture* dan nilai *slowness*. Setiap array memiliki bentuk pola *array response function* yang berbeda-beda.

Sebelum menentukan bentuk *array response function* dari stasiun array non permanen di Padang, Sumatera Barat terlebih dahulu diuji bentuk *array response function* dari array yang telah diketahui koordinat stasiun dan bentuk *array response function* nya, yaitu array ARCESS di Norwegia (Gambar 3.10) dan array Yellowknife di Canada (Gambar 3.11). Hasil uji bentuk *array* array ini terlihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.

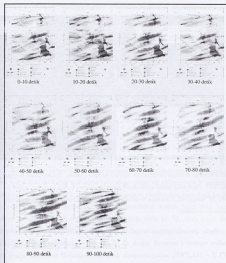


Gambar 4.5 Bentuk *array response function* dari pengujian *array response function* untuk array jenis Yellowknife array di Canada



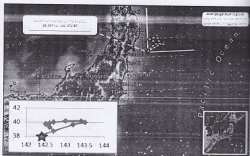
Gambar 4.6 Bentuk *array response function* dari pengujian *array response function* untuk array jenis ARCESS di Norwegia

Berdasarkan informasi *slowness* dan *back azimuth* dari urutan *time movie* maka dapat dilanjutkan untuk memetakan pergerakan *rupture* pada array. Proses pergerakan *rupture* merupakan perpindahan *back azimuth* pada range 30° sampai 46° menuju ke arah timur dari pusat array, seperti terlihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Pergerakan *rupture* selama durasi waktu 0 - 100 detik dimulai dari detik ke-0 hingga detik ke-100 yang digambarkan pada array di Sumatera Barat

Pergerakan loba memperlihatkan pergerakan *rupture* yang sebenarnya di episenter melalui representasi pada pusat array di stasiun Padang, Sumatera Barat. *Rupture* mulai bergerak dari arah utara menuju ke arah timur pusat array sejauh $40,18^\circ$, dan pada saat 100 detik arah *rupture* sudah bergerak sejauh $46,5^\circ$. Berdasarkan hasil pergerakan *rupture* pada array, maka dapat direpresentasikan arah *rupture* untuk gempa yang terjadi pada tanggal 11 Maret 2011 di Tohoku, Jepang, seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.8 Representasi pergerakan *rupture* gempa Tohoku, Jepang pada tanggal 11 Maret 2011. Dari arah utara episentrum *rupture* pertama sekali bergerak pada arah $40,18^\circ$ hingga $46,5^\circ$ menuju timur episentrum, tanda bintang biru pada grafik merupakan episenter

Pada awalnya gempa terjadi di episenter ($38,29^\circ\text{LU}$, $142,37^\circ\text{BT}$). 10 detik kemudian *rupture* I bergerak sejauh $40,18^\circ$ dari utara episentrum pada posisi koordinat ($39,7^\circ\text{LU}$ – $143,2^\circ\text{BT}$), selanjutnya pada detik ke-20 *rupture* II berpindah sejauh $45,2^\circ$ di posisi (40°LU – $143,5^\circ\text{BT}$), dan pada detik ke-30 *rupture* III berubah ke posisi ($40,2^\circ\text{LU}$ – $143,4^\circ\text{BT}$) sejauh $40,3^\circ$ dari utara episentrum, demikian seterusnya hingga yang terakhir pada detik ke 100 kembali terjadi pergerakan *rupture* sejauh $46,5^\circ$ di posisi ($38,7^\circ\text{LU}$ – $142,7^\circ\text{BT}$). Posisi perpindahan *rupture* ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Posisi perpindahan *rapture* mulai dari posisi 0 di episenter hingga posisi *rapture* yang ke 11 pada setiap 10 detik selama 110 detik.

Posisi perpindahan <i>rapture</i>	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Arah dari utara episenter
Start di episenter	142,4	38,2	-
I	143,2	39,7	40,18°
II	143,5	40	45°
III	143,4	40,2	40,3°
IV	143	40,2	38,4°
V	142,7	40	35,1°
VI	142,6	39,9	33,3°
VII	142,5	39,8	30,1°
VIII	142,5	39,7	32,2°
IX	142,6	39,3	39,4,5°
X	142,7	38,7	46,5°

Keseluruhan pergerakan arah ini mengindikasikan bahwa *rapture* bergerak selama durasi waktu 100 detik dari arah utara episentrum mulai 40,18° hingga 46,5° menuju timur episentrum. Selama 100 detik arah *rapture* mengalami pembelokan pada detik ke-20 yaitu yang pada awalnya menuju arah timur laut membelok kearah barat daya kemudian berputar dan kembali lagi menuju timur laut pada detik ke 70. Arah timur laut dari pergerakan *rapture* ini adalah menuju posisi geologi palung laut Jepang yang berada di sebelah timur dari episenter.

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian melalui data seismik array di Sumatera Barat terhadap gempa Tohoku yang terjadi di Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 pukul 05:46 UTC diperoleh arah *rapture* gempa yang bergerak dari arah utara pusat array menuju timur dengan range nilai back azimuth 30,1°- 46,5° dengan durasi *rapture* adalah 100 detik.
2. Selama 100 detik arah *rapture* mengalami pembelokan pada detik ke-20 yaitu yang pada awalnya menuju arah timur laut pada arah 40° dari episenter membelok kearah barat daya kemudian berputar dan kembali lagi menuju timur laut pada detik ke 70 membentuk arah 45° dari utara episenter.



DAFTAR PUSTAKA

- Subono, B. and Kuncoro, E. (2011). *Heat Transfer, International Student Edition*. McGraw Hill, Int. Book Co. Tokyo.
- Aki, K. (1957). *Space And Time Spectra Of Stationary Stochastic Waves, with special reference to microtremors*, Bull. Earthq. Res. Inst., 35, 415-457.
- Bath, M. (1973). *Introduction to Seismology*, Library of Congress Card Number: 72-14371, Stockholm.
- Emmons W.H, Ira, S. Alison, Clinton, R, Stauffer, George, A. Thiel, (1960). *Geology:Principle and Processes*. McGraw-Hill book Company, Inc, New York.
- Gusman, AR dan Muhari, A. (2011). *Gempa dan Tsunami Tohoku 2011*. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Jepang.
- Harjes, H.-P., dan M. Henger, (1973). *Array-Seismologie*, Z. Geophys. 39, 865-905.
- Huang, BS. (2001). *Evidence for Azimuthal and Temporal Variations of The Rayleigh Propagation of the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake From Dense Seismic Array Observations*. Geophysical Research Letters, Vol.28, No.17, Pages 3377-3380, September 1, 2001. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan Republic of China.
- Muhari, A., Gusman, AR., Istiyanto, DC., Triawan, F., Febriani, F., Hastiadi, FF., Putri, RF., Wijono, RUA., Permama, S. 2011. *Belajar dari Bencana Jepang 11.03.2011 Gempabumi - Tsunami - Radiasi Nuklir*. Institute for Science and Technology Studies (ISTECS). Jepang.
- Kruger, F & Ohnberger, M. 2005. *Tracking The Rapture Of The $M_w = 9.3$ Sumatra earthquake over 1,150 km at Teleseismic Distance*. Vol 435/16 June 2005/doi:10.1038/nature03696. Institute of Geosciences, University of Potsdam Germany.
- Permama, S. 2011. *Krisis Nuklir Fukushima Daiichi Jepang diambil dari Belajar dari Bencana Jepang 11.03.2011 Gempabumi - Tsunami - Radiasi Nuklir*. Institute for Science and Technology Studies (ISTECS). Jepang.



- Rost, S. dan Thomas, C. 2002. *Array Seismology, Methods and Applications*, Rev. of Geophysics, 40(3).
- Sauck, W. A dan Sumner, J. S., 1970, *Residual Aeromagnetic Map of Arizona*, University Arizona, Department Geoscience, Arizona.
- Scholz, C. H, 1990, *Seismology: Faults (Geology)*, Cambridge University Press, Newyork.
- Schweitzer, J, Fynn, J, Mykkeltveit, S, Gibbons, J.S, Piri, M, Kuhn, D., and Kverna, T, 2011. *Seismic Arrays*. DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2_CH9. Norway.
- Wang, D dan Mori, J. 2011. *Rupture Process of The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M_w 9.0) as Image With Back-Projection of Teleseismic P-Waves*. Earth Planets Space, 63, 603-607, 2011. Institute of Seismology, China Earthquake Administration, China.
- Yagi, Y. 2011. *Depth dependence of rupture velocity in deep earthquakes*. journals/ghi/1105/2011GL046807/. Received 17 January 2011; accepted 2 February 2011; published 11 March 2011, Jepang.
- Yuniriani, E. 2009. *Aplikasi Teknik Array Untuk Menentukan Parameter Sumber Gempa Sudd krus: Gempa Jepang Tanggal 5 September 2004*. Program Study Geofisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Arahan Pemangfaatan Ruang Wilayah Kawasan Bencana Sumatera Barat Tahun 2003-2019*, <http://www.sumbaproxy.go.id> (online 17 Maret 2012).
- Perkembangan Gempa 2011 di Jepang*, BMKG Lampung, <http://www.bmkg.stageoflampung.com>. (online 10 Mei 2012).
- Atlas of The World (Japan)*, http://www.met-atlas.de/map_of_asia_map_of_the_world_political_0-9023. (online 8 Agustus 2012).
- <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usoc0001zgr/> (online 11 September 2012).
- <http://www.norsardata.no/NDC/> (online 12 November 2012).